

## 日本における体感気候分布の表現方法に関する研究

堀越哲美・芹生智香

## Distribution of Sensational Climate in Japan

TETSUMI HORIKOSHI<sup>\*1</sup> and TOMOKA SERIU<sup>\*2</sup>

## 1. はじめに

日本は、南北に長くその気候的特性は、最南端と最北端ではかなり異なっていることはよく知られた事実である。日本の気候分布の研究のうち日本全国にわたる、ないし広範な地域での体感気候の研究は、気候学分野では、福井<sup>1)</sup>、武田<sup>2)</sup>、河村<sup>3)</sup>、深石<sup>4)</sup>、大和田<sup>5)</sup>、河村・朴<sup>6)</sup>等、建築学では、渡辺<sup>7)</sup>らによって研究が行われてきたが、気温・湿度・風速・熱放射の環境4条件、代謝・着衣の人体側2条件を考慮した体感気候の分布に関する研究は少ない。そこで、各条件を組み合わせた各種温熱環境指標について、日本気候表(1980年版)の月平均の平年値データーを用いて計算を行い、日本の体感気候分布をもとめ、地域の気候特性について考察を行ったので、ここに発表する。

## 2. 日射量等からの平均放射温度の算定

各種の温熱環境指標を計算する過程に於て、気温・湿度・風速は、気象観測データーを別の次元に変換しないで、その量のまま用いることが出来るが、日射量については、何等かの工夫が必要である。そこで日射量は、観測値から人体に入射する日射量を求め、それをさらに平均放射温度に換算して利用した。その日射量の具体的な取り扱い方法は、まず全天日射量観測地点以外の観測点では、赤坂<sup>8)</sup>の方法によって、日照率から全天日射量を測定した。ただし、冬季のデーターについては、全天日射量観測値で、観測値と赤坂の回帰式より求めた値を比較したところ全体に値がシフトしているので、全天日射量観測地のデーターの分析から求めた $1.75 \text{ MJ/m}^2$ を、赤坂の式から求めた値に加算した。その全天日射量を、宇田川・木村<sup>9)</sup>の方法で直散分離を行い、直達日射量と拡散日射量を求めた。人体へ入射する日射量は、各月の

太陽高度の平均日変化に対応する人体投射面積率を求め、その平均値を積算直達日射量に乘じた量と、拡散日射量に人体有効放射面積率を乗じた量の合計値の短波放射及び気温と等しい周辺面からの長波放射を有効放射場として、人体への全放射量を計算した。

## 3. 体感温度指標の算出

体感温度指標としては、十数種について計算したが、ここでは、従来よく用いられている気温を始めとして不快指数(Thom<sup>10)</sup>)・酷寒指数(深石<sup>4)</sup>に引用)・Windchill 指数(Siple<sup>11)</sup>)・PMV(Fanger<sup>12)</sup>)に加え環境4条件を含んだ修正湿り作用温度(堀越・小林<sup>13)</sup>)を用いた。ただし、修正湿り作用温度の計算には、皮膚温とぬれ面積率が必要なので、Gagge<sup>14)</sup>らの2層モデルを用いて算出した。さらに、代謝量・着衣量の人体側2条件と気温・湿度・風速・熱放射の環境4条件を含めた場合を表現するために、人体の熱平衡式を用いて、人体が与えられた作業条件下で、至適条件を満足する着衣量を算定し、その着衣量をもって体感温度指標とすることを試みた。人体が、熱平衡を保ち、皮膚温が $34^\circ\text{C}$ 、ぬれ率が0.06である状態を至適条件として与えた。これは、従来の研究結果(堀越ら<sup>15)</sup>)とGaggeらのモデルの初期条件を参考にして決めた。次に示す式(1)の熱平衡式に、各地点における気候データーをいれて、クロ値 $I_{cl}$ について解いた。この着衣量を、予測至適着衣量PCC(Predicted Comfortable Clothing)と仮称して呼ぶことにする。また、この計算で皮膚表面の水蒸気圧は、Antoineの式を用いて皮膚温における飽和水蒸気圧として求めた。

$$M = h_c (t_s - t_a) \bar{F}_{cl} + h_r (t_s - t_r) \bar{F}_{cl} + w h_e (P^* - P_a) \bar{F}_{pcl} \quad (1)$$

ただし、 $\bar{F}_{cl}$ と $\bar{F}_{pcl}$ は着衣の伝熱効率と透湿効率<sup>16)</sup>と呼ばれるものであり、着衣の効果を組み入れるために着衣表面の対流・放射の熱伝達率および着衣表面の湿気伝達

\* 1 大阪市立大学生活科学部住居科

\* 2 コクヨ(株)設計部

ただし、 $F_{cl}$ と $F_{pcl}$ は着衣の伝熱効率と透湿効率<sup>10)</sup>と呼ばれるものであり、着衣の効果を組み入れるために着衣表面の対流・放射の熱伝達率および着衣表面の湿気伝達率を着衣の熱伝導と湿気伝導のコンダクタンスを含めて補正したものであり、次式で表される。

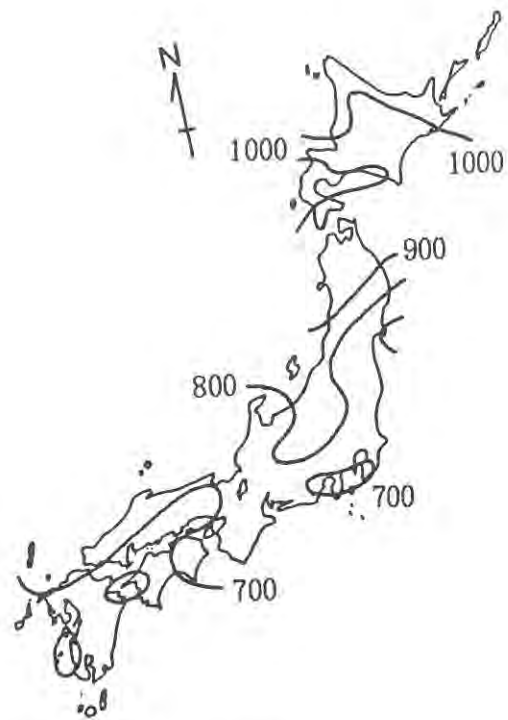
$$F_{cl} = 1 / (1 + 0.155 I_{cl} h) \quad (2)$$

$$F_{pcl} = 1 / (1 + 0.144 I_{cl} h c) \quad (3)$$

$$h = h_c + h_r \quad (4)$$

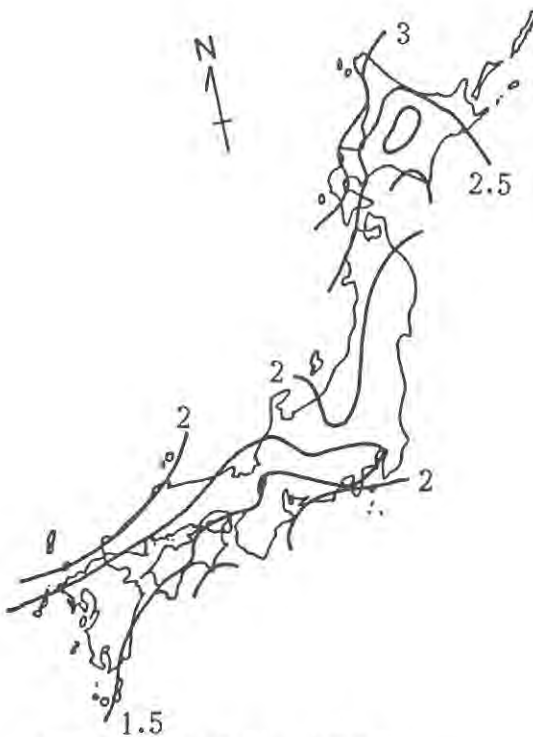
ここで、

$h$ : 総合熱伝達率	[W/m <sup>2</sup> °C]
$h_c$ : 対流熱伝達率	[W/m <sup>2</sup> °C]
$h_e$ : 蒸発熱伝達率	[W/m <sup>2</sup> °C]
$h_r$ : 放射熱伝達率	[W/m <sup>2</sup> °C]
$I_{cl}$ : 予測至適着衣量	[clo]
$M$ : 代謝量	[W/m <sup>2</sup> ]
$P_a$ : 空気の水蒸気圧	[kPa]
$P_s$ : 皮膚水蒸気圧	[kPa]
$t_a$ : 気温	[°C]
$t_s$ : 皮膚温	[°C]
$t_r$ : 平均放射温度	[°C]
$w$ : ぬれ面積率	[—]



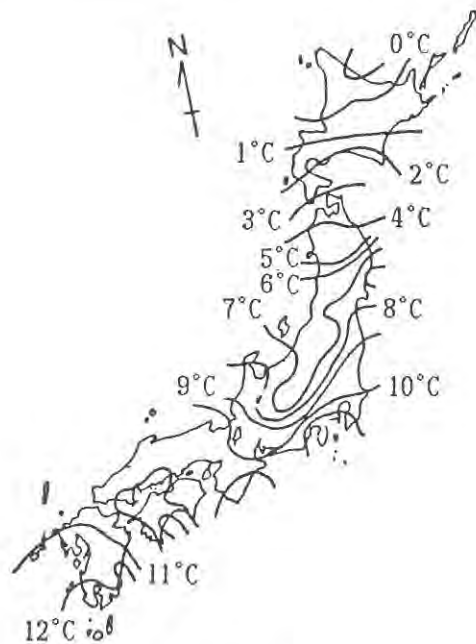
Windchill January

Fig. 2 Distribution of Bodman's Index in January.



Severe Cold Index January

Fig. 1 Distribution of Windchill Index in January.



HOTV 2 Met 2clo January

Fig. 3 Distribution of Corrected Humid Operative Temperature in January.

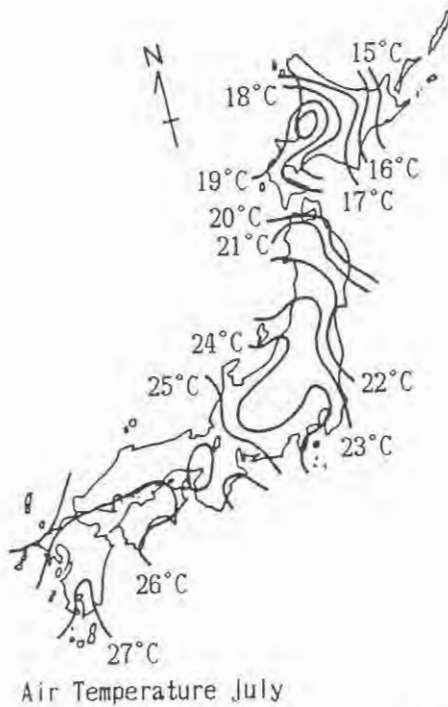


Fig. 4 Distribution of Daily Average Air Temperature in July.

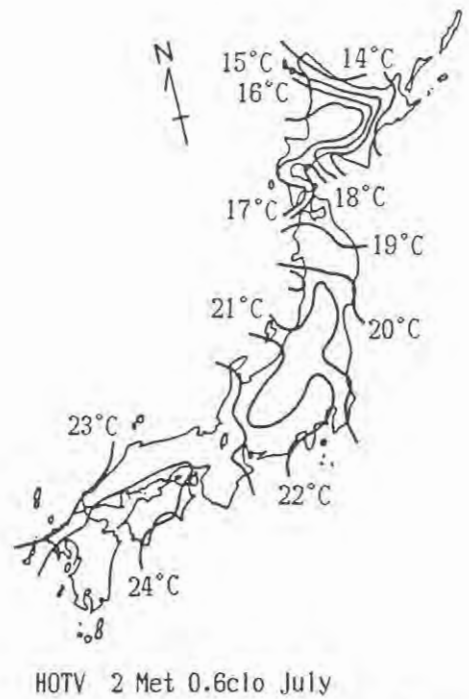


Fig. 6 Distribution of Corrected Humid Operative Temperature in July.

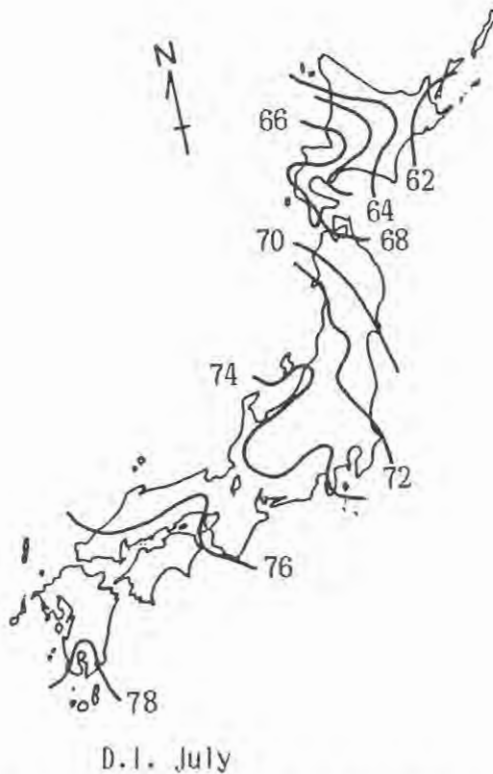


Fig. 5 Distribution of Discomfort Index in July.

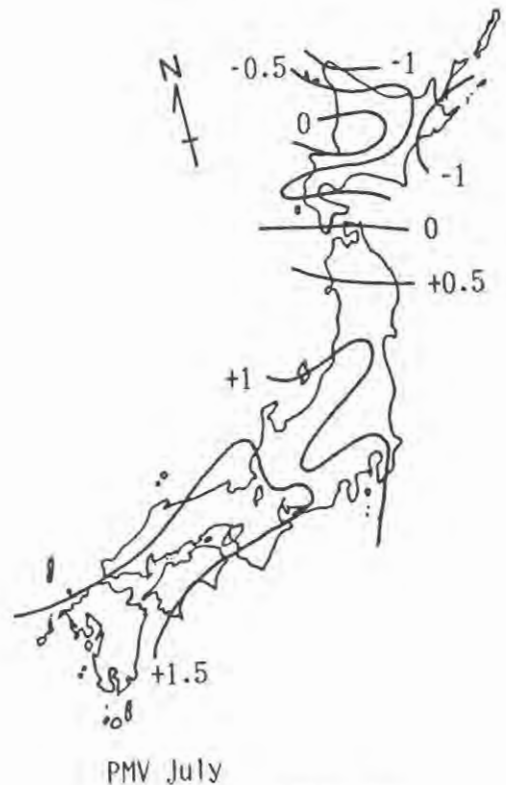


Fig. 7 Distribution of PMV in July.

## 4. 日本の体感気候分布の考察

Fig. 1は、1月の Windchill 指数の分布で、Fig. 2は、酷寒指数の分布である。両者の分布は、北海道西部と大阪付近で各々の指標の等値線の傾向が異なるのを除いて同様の分布を示す。これは、ふたつの指標ともに気温と風速による冷却力を表しているために、かなり近似の傾向を示していると考えられる。Fig. 3は修正湿り作用温度である。上述のふたつの指標と比べて北日本では、ほぼ同じような傾向をもつが北海道東部・青森で分布が異なる。また、近畿から瀬戸内海地方で差が表れ、修正湿り作用温度では、兵庫県南部中心に、寒い側へと変わっている。これは、修正湿り作用温度が他のふたつの指標には組み込まれていない湿度と日射が考慮されている特徴が出ているものと考えられる。つぎに、7月の場合の結果を示す。Fig. 4からFig. 7に、気温・不快指数・修正湿り作用温度（着衣は軽衣0.6clo）・PMVの分布を示す。夏季には、その開発目的から冬季の風の冷却に特に注目した windchill 指数や酷寒指数は不適なので割愛し、蒸し暑さを対象としている不快指数を用いることとする。Fig. 4の気温とFig. 5の不快指数では、東北地方での等温線に差がみられ、近畿・瀬戸内での分布が異なる。修正湿り作用温度では（Fig. 6）、関東以西の地域で、気温分布に近い様相を示すが、中京から近畿にかけて異なり、東北地方では、裏日本沿岸部での分布の様相が異なる。また、近畿から中京にかけて、寒い側へシフトしている。PMVは（Fig. 7）、考慮している環境条件が同じために、+1以下の値を示す地域では修正湿り作用温度が示す分布に近いが、それより暑い側の分布がある程度異なっている。これは、PMVに発汗による蒸発の項が組み入れられていないためと考えられる。立体で着衣量が0.6cloのため、熱的中性の地域は津軽海峡付近である。Fig. 8に示される予測至適着衣量の結果では、他の指標と大きく異なっており、東日本沿岸部では、不快指数が示すよりも、相対的に涼しいことを示す、大きい着衣量の値をとっている。また、熱平衡が保てない、0 clo以下の負値が、瀬戸内海地方に出現している。年平均のデータで、同様に予測至適着衣量を計算した結果が、Fig. 9である。中部山岳を除き、7月の場合と分布が異なる。東京・名古屋・北九州辺りが年間平均で、1 cloが予測されている。これらは、いずれも風と日射の影響を取り入れたことが表れているものと考えられる。

本研究で得られたデータを天気予報で用いられるような気象要素と同様に生活に関する情報としての利用を

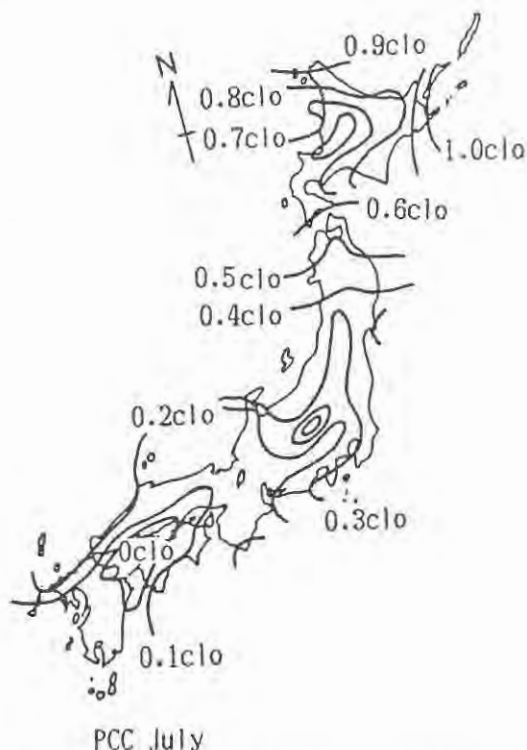


Fig. 8 Distribution of Predicted Comfortable Clothing in July.

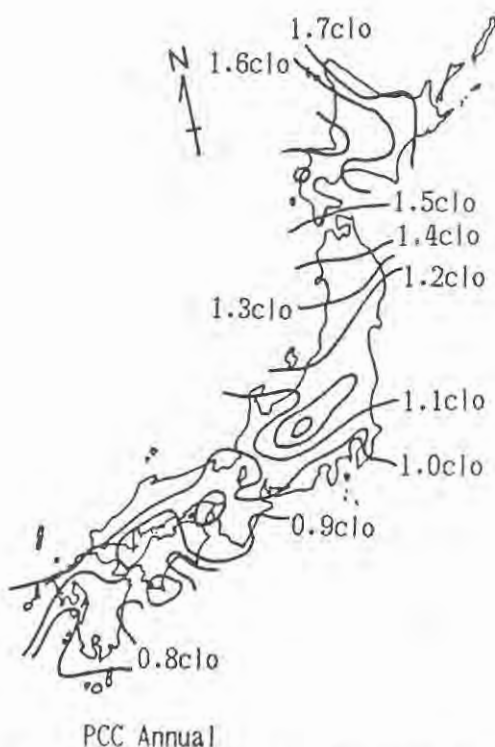


Fig. 9 Distribution of Annual Predicted Comfortable Clothing.

考えると、データーベースとしての整備を行うことは必要である。それを前提に次のような試みを行った。日本を、緯度と経度で $30' \times 30'$ にメッシュ分割すると普通観測地点は、ほぼ1つのメッシュに含まれる。そこで、このメッシュにより体感気候の分布をコンピューターグラフィックスで14段階を14色でメッシュ表現して、生活環境情報としての利用に供するようにした。その一例を、メッシュ内を模様で表現する白黒モードでの結果を、Fig. 10に示す。

### 5. おわりに

従来から体感気候の分布の表現に利用されてきた、気温・不快指数・Windchill指数・酷寒指数と人体の熱平衡式から求められた比較的新しい体感温度指標である修正湿り作用温度・PMVの日本における分布を、気象観測データーから計算し求めた。これには、日射量を平均放射温度に換算する手順を含んでいる。さらに、人体の熱平衡式と至適条件から計算する予測至適着衣量による日本の体感気候分布を求めた。考慮する気候要素の項目数の違いによる各指標の分布に差が認められた。さらに、生活環境情報としてデーターの提供を考えて、コン

ピューターグラフィックスによる視覚的表現の試みを行った。

### 【引用文献】

1. 福井英一郎：本邦における体感気候，中央気象台彙報 19, 429-441, 1942.
2. 武田京一：体感気候と不快指数，気象集誌 41 (6), 348-354, 1963.
3. 河村武：本邦における夏季の不快指数の分布，研究時報 17 (7), 36-42, 1965.
4. 深石一夫：北海道における酷寒指数の分布，水温の研究 15, 26-31, 1971.
5. 大和田道雄：“名古屋の気候環境” 荘人社，1980.
6. 河村武・朴淑恵：日本諸都市の体感気候，日本生気象学会誌 23 (5), 34, 1986.
7. 渡辺要：“建築と気象” 地人書館，1962.
8. 赤坂裕：日照率による時刻別日射量の推定法—その1，気象台のジョルダン日照計による日照率を求める場合，日本建築学会大会学術講演梗概集，793-794, 1984.
9. 宇田川光弘・木村建一：水平面全日射量観測量より

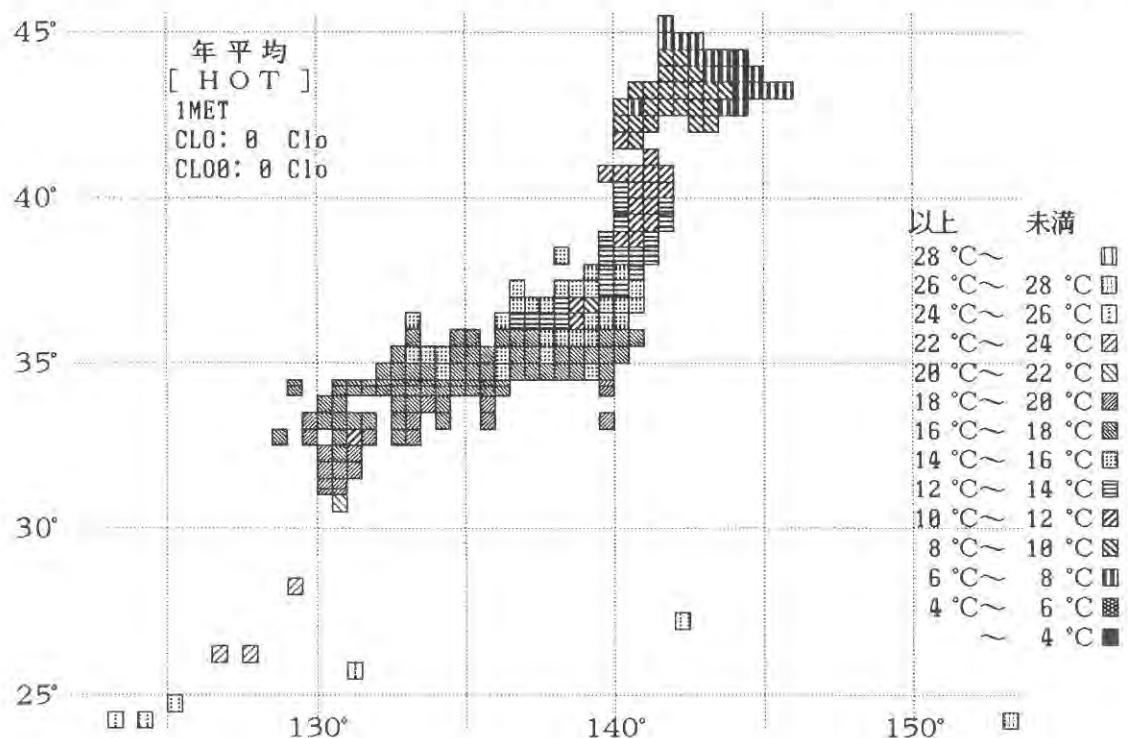


Fig. 10 Computer Graphics of Humid Operative Temperature Distribution in Annual Mean.



- の直達日射量の推定, 日本建築学会論文報告集 (267), 83-89, 1978.
10. Thom, E. C. : The discomfort index, *Weatherwise* April, 57-60, 1959.
  11. Siple, P. A. & Passel, C. F. : Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperature, *Proc. Am. Phil. Soc.* 89 (1), 177-199, 1945.
  12. Fanger, P. O. : "Thermal comfort", Danish Technical Press, 1970.
  13. 堀越哲美・小林陽太郎 : 総合的な温熱環境指標としての修正湿り作用温度の研究, 日本建築学会計画系論文報告集 (355), 12-19, 1985.
  14. Gagge, A. P. et al : An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response, *ASHRAE Trans.* 77, 247-262, 1971.
  15. 堀越哲美・小林陽太郎・福島重治・土川忠浩 : 気温・湿度・気流・熱放射の人体影響評価方法の実験的検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 539-540, 1985.
  16. ASHRAE : "ASHRAE HANDBOOK, Fundamentals", ASHRAE Inc., Atlanta, 1985.  
(昭和62年10月12日受理)

### Summary

Thermal comfort index, including the effect of wind velocity and solar radiation, has never been calculated on the basis of meteorological data in the cities of Japan, although the discomfort index has been calculated. The purpose of this paper is to calculate several thermal comfort indices in each city having a meteorological observatory and to investigate geographical distribution of the indices.

Turning solar radiation into mean radiant temperature is important and necessary. First, total solar radiation was calculated from relative sunshine duration by Akasaka's regression method. Second, it was divided into direct solar radiation and sky radiation by Udagawa & Kimura method. The effective radiant field was calculated from these values and then the mean radiant temperature was obtained. The discomfort index, the windchill index, the operative temperature, the humid operative temperature, PMV, the effective temperature and the corrected humid operative temperature were calculated from the meteorological data and these results. Further, clo value was calculated to satisfy the heat balance equation of the human body under the condition, skin temperature = 34°C and wettedness = 0.06.

This value shows the necessary clothing insulation for people to maintain their thermal neutrality or thermal comfort in each city. These indices were calculated from monthly mean value of the data in January and in July.

In winter the distribution pattern of the calculated indices was different each other along the coast of southern Japan; the humid operative temperature showed cooler climate than the windchill index in the east region of Setouchi. In summer the humid operative temperature shows cooler climate than the discomfort index along the coast of the Pacific ocean. Moreover, the optimal clo value shows the cooler climate than the discomfort index shows along the coast. This clo value is less than 0 clo over Setouchi region, because taking account of solar radiation and wind velocity these results were obtained.